



# Agroindustrial Science

Agroind Sci 5 (2015)

Escuela de Ingeniería  
Agroindustrial

Universidad Nacional de Trujillo

## Impacto térmico del secado por Ventana Refractante™ sobre los metabolitos antioxidantes de la cáscara del membrillo (*Cydonia oblonga* L.)

Thermal impact of Refracting Window™ drying on the antioxidant metabolites of quince peels (*Cydonia oblonga* L.)

Mario Espinoza<sup>a</sup>, Elvia Gómez<sup>a</sup>, Julio Aguilar<sup>a</sup>, Jhonatan Cabanillas<sup>a</sup>, Miguel Santa Cruz<sup>a</sup>, Iris Rodríguez<sup>a</sup>, Raúl Ríos<sup>a</sup>, Ivette Zuta<sup>a</sup>, Raúl Sicche<sup>b,\*</sup>

*a. Escuela de Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Trujillo, Av. Juan Pablo II s/n, Ciudad Universitaria, Trujillo Perú.*

*b. Instituto Regional de Investigación Agraria, Universidad Nacional de Trujillo, Av. Juan Pablo II s/n Trujillo-Perú.*

\*Autor para correspondencia: [rsicche@unitru.edu.pe](mailto:rsicche@unitru.edu.pe) (R. Sicche).

Recibido 12 Agosto 2015; Aceptado 16 Octubre 2015

### RESUMEN

El contenido de metabolitos tales como fenoles y flavonoides en el membrillo se ha relacionado con efectos de promoción de la salud humana debido a sus propiedades antioxidantes y funcionales. Este estudio tuvo como objetivo investigar el impacto térmico del secado por ventana refractante™ (VR) combinado con variables de temperatura y tiempo sobre el contenido de fenoles y flavonoides totales en cáscaras de membrillo (*Cydonia oblonga* L. variedad "Serrano"). El diseño experimental comprendió una metodología de superficie de respuesta utilizando un Diseño Compuesto Central Rotable (DCCR). Los rangos variables empleados fueron de 75-95 °C (temperatura) y 20-60 min (tiempo), así mismo se utilizó una lámina Mylar (polietileno de tereftalato metalizado) como película refractante de 0,1 mm. Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC) fue utilizada para determinar el contenido de flavonoides totales en los ensayos. Los resultados mostraron una reducción de aproximadamente 13% en el contenido de fenoles totales en los tratamientos aplicados ( $T^{\circ} = 74-78^{\circ} \text{C}$ ,  $t = 15-25 \text{ min}$ ) con respecto al contenido de las muestras frescas. Para el caso de los flavonoides totales, los análisis revelaron que cuando se trabaja con temperaturas entre 74-78 °C y tiempos cortos de 15-25 minutos, producen un aumento (3 veces más) en el contenido de estos metabolitos. El estudio concluye que el secado por VR puede producir una menor reducción en el contenido de fenoles totales y un aumento significativo en el contenido de flavonoides totales en menores tiempos comparados con otros métodos de secado existentes.

**Palabras clave:** Ventana refractante™, membrillo, residuos agroindustriales, metabolitos antioxidantes, HPLC.

### ABSTRACT

The content of metabolites such as phenols and flavonoids in the quince has been linked to promoting effects on human health due to its antioxidant and functional properties. This study aimed to investigate the thermal impact drying of refracting window™ (RW) combined with varying temperature and time on the content of total phenols and flavonoids in peels of quince (*Cydonia oblonga* L. variety "Serrano"). The experimental design included a response surface methodology using a Central Composite Rotatable Design (DCCR). The variable ranges were employed 75-95 °C (temperature) and 20-60 min (time), likewise Mylar (polyethylene terephthalate metallized) film as refracting sheet 0.1 mm was used. High Performance Liquid Chromatography (HPLC) was used to determine the content of total flavonoids in the trials. The results showed a reduction of approximately 13% in the total phenol content in the treatments applied ( $T^{\circ} = 74-78^{\circ} \text{C}$ ,  $t = 15-25 \text{ min.}$ ) regarding the content of the fresh samples. In the case of total flavonoids, analysis revealed that treatments combining with temperatures between 74-78 °C and shorter times of 15-25 minutes, produced an increase (3 times) in the content of these metabolites. The study concludes that RW drying can produce a lower reduction in total phenolic content and a significant increase in the content of total flavonoids in less time compared to other existing methods of drying.

**Keywords:** Refracting window™, quince, agroindustrial wastes, antioxidant metabolites, HPLC.

## 1. Introducción

En el procesamiento de los alimentos, además del producto deseado, se generan subproductos, residuos y productos fuera de norma, cada uno de los cuales pueden servir para consumo humano o animal, o tener otra aplicación industrial, lo que traería beneficios económicos y funcionales (Ricce, 2013).

Varias tecnologías de secado pueden ser opciones comerciales viables para la obtención de metabolitos antioxidantes a partir de estos subproductos y residuos, y aumentar su tiempo de almacenamiento. Cada uno tiene sus propias ventajas y limitaciones. El producto final obtenido de estos métodos puede diferir en sus propiedades y microestructuras fisicoquímicas o nutricionales, dentro de ellas su composición funcional (Castañeda *et al.*, 2010).

El secado por ventana refractante™ (VR) es una novedosa técnica de secado diseñada principalmente para convertir puré de fruta o cáscaras en polvo. La tecnología utiliza la circulación de agua caliente (95 - 97 °C) para transferir energía térmica a un material líquido finamente extendido colocado sobre una cinta transportadora de poliéster que se mueve a una velocidad determinada mientras está en contacto directo con el agua caliente. Esta tecnología ofrece varios beneficios cuando se aplican a las frutas y verduras. Por ejemplo, buena retención de nutrientes (vitaminas), promotores de salud (antioxidantes) y atributos sensoriales (color, aroma) fueron reportados en zanahorias, fresas y calabaza secas (Nindo y Tang, 2007). El color verde brillante de puré de espárragos se mantuvo prácticamente inalterado cuando se seca en el secador VR, y fue comparable con la calidad de un producto liofilizado (Abonyi *et al.*, 2002). Además, la eficiencia energética del método de secado VR, se compara favorablemente con otros secadores convencionales (Nindo y Tang, 2007). Nindo *et al.* (2004, 2007) también utilizaron la tecnología VR para la evaporación de zumos de bayas.

El equipo necesario para el secado VR es simple y relativamente de bajo costo en comparación con liofilizadores. Para el secado de una cantidad similar de producto, el coste de un equipo VR es alrededor de un

tercio del costo de un secador por congelación, mientras que la energía consumida por VR es menos de la mitad la energía consumida por un liofilizador (Nindo *et al.*, 2007).

La mayoría de los estudios sobre la técnica VR se han llevado a cabo con frutas y verduras en puré o jugo, sin embargo, esta técnica también es atractiva para el secado de residuos orgánicos como las cáscaras de fruta, las cuales son una fuente importante de metabolitos antioxidantes que pueden ser reutilizados debido a sus propiedades favorables, pudiendo tener un efecto benéfico para la salud humana.

Tal es el caso del fruto del membrillo (*Cydonia oblonga* L.), que no se aprecia fresco debido a la dureza de la pulpa, la amargura y la astringencia, pero que con el fin de aprovechar su potencial benéfico y agregar valor a la materia prima con menores costes de manipulación y transporte, se han creado productos a base de este fruto como mermeladas, ate y pudín, o puede pelarse para posteriormente asarlo (Hernández *et al.*, 2013) que poseen funcionalidad y son estables durante un tiempo más largo de almacenamiento.

Así mismo los membrillos están atrayendo interés debido a sus propiedades promotoras de la salud, la que puede ser atribuida a los metabolitos antioxidantes presentes en estos alimentos: vitaminas, carotenoides, compuestos polifenólicos y flavonoides, los cuales previenen el daño por radicales libres. De la misma forma tienen actividad hipoglucémica, antiinflamatoria, anticancerígena, antimicrobiana, antialérgica y actividad antiulcerosa y puede actuar como un tónico para el corazón y el cerebro (Wojdyło *et al.*, 2013; Legua *et al.*, 2013.; Sharma *et al.*, 2011). Los efectos en la salud de los polifenoles dependen de la cantidad consumida y en su bioaccesibilidad (Manach *et al.*, 2004).

Respecto al membrillo, se han encontrado trabajos para determinar el contenido de compuestos fenólicos, flavonoides y su actividad antioxidante antes y después del desarrollo de productos de este fruto en forma de mermeladas, snacks, néctares, gelatinas y pasteles (Silva *et al.*, 2002; Silva *et al.*, 2005; Hernández *et al.*, 2013; Wojdyło *et al.*, 2013) en formulaciones

tanto de la pulpa, pulpa con cáscaras y semillas. Sin embargo, ningún autor ha reportado los efectos del método de secado mediante VR sobre el contenido de metabolitos antioxidantes de interés tales como fenoles y flavonoides totales en el procesamiento de la cáscara del membrillo, lo cual es de suma importancia considerando que esta especie tiene un considerable contenido de compuestos desde el punto de vista antioxidante (INTA, 2014).

Con base en lo anterior, el objetivo de este estudio fue determinar el impacto térmico del secado por ventana refractante (VR) sobre propiedades relacionadas al bienestar en el ser humano como el contenido de metabolitos antioxidantes tales como los fenoles y flavonoides totales en cáscara de membrillo (*Cydonia oblonga* L. variedad “Serrano”).

## 2. Materiales y métodos

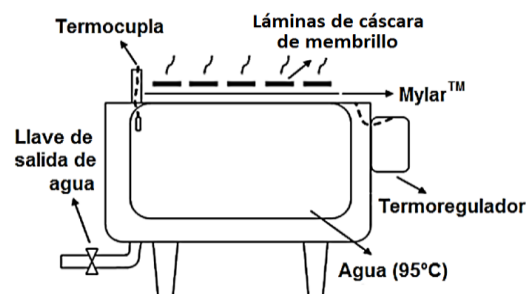
Se utilizaron membrillos (*Cydonia oblonga* L. variedad “Serrano”) provenientes del distrito de Sinsicap, provincia de Otuzco, región La Libertad-Perú.

Se realizó una selección y lavado de la fruta, separando las impurezas o residuos como: polvo, daños mecánicos, etc. Los membrillos se escaldaron en agua a 90-95 °C por 5 minutos, posteriormente se pelaron con la finalidad de obtener las cáscaras (láminas de 1-2 mm de espesor), para luego ser destinadas al sistema de secado.

### Secado por ventana refractante (VR)

Este secador se compone de una bañera termostática de acero inoxidable de 18 L llena de agua destilada. La superficie del agua fue cubierta con Mylar (polietileno tereftalato) en el que las muestras fueron colocadas y espaciadas uniformemente para cada prueba (Figura 1). La energía térmica del agua caliente que circula (transferida a las cáscaras a través de la película) se utilizó para eliminar la humedad del producto (Nindo *et al.*, 2003). La temperatura del baño se fijó entre rangos de 75-95 °C y tiempo de 20-60 minutos acorde con el diseño experimental, luego se determinó el contenido de humedad final de las muestras y se envasaron en bolsas de polietileno de alta densidad (PEAD) para su posterior análisis. El contenido de humedad

final de cada uno de los ensayos se determinó usando una estufa.



**Figura 1.** Disposición esquemática del secador por ventana refractante utilizado en el experimento (adaptado de Gamboa *et al.*, 2014).

## Análisis de metabolitos antioxidantes

### Fenoles totales

Los fenoles totales se determinaron según Viuda-Martos *et al.* (2010); Holtung *et al.* (2011) y Waterhouse (2002) con algunas modificaciones. Los análisis se realizaron mediante espectrofotometría visible a 760 nm después de la reacción con el reactivo Folin-Ciocalteu. A cada muestra de cáscara de membrillo (2 g) se le adicionó alcohol etílico (80°) y se enrasó hasta 10 mL en una fiola, esta mezcla se agitó y centrifugó a 4200 rpm por 15 minutos, finalmente se filtró. A continuación, los extractos de las cáscaras (20 µL) se introdujeron en tubos de ensayo, añadiendo 1580 µL de agua destilada. Se agitó y se adicionó 100 µL de reactivo de Folin-Ciocalteu y 300 µL de solución de carbonato de sodio (20%). La absorbancia de todas las muestras se midió a 760 nm después de incubarlas a 50 °C por 10 minutos. Los resultados fueron calculados mediante una curva de calibración obtenida a partir de un estándar de ácido gálico y se expresaron como miligramos de ácido gálico por 100 g de muestra.

### Flavonoides totales

El contenido de flavonoides totales fue cuantificado por Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC) de acuerdo con el método propuesto por Blasa *et al.* (2005) y Roldán-Marín *et al.* (2009) con modificaciones menores.

La determinación de los flavonoides totales incluyó una hidrólisis ácida. Cada muestra de cáscara de membrillo (1,5 g) se homogenizó con 5 mL de ácido clorhídrico (6 M) y 10 mL de metanol dentro de un baño



maría a reflujo a 90 °C por 2 horas. Inmediatamente después se enfriaron y centrifugaron las muestras a 4500 rpm durante 15 min. Se trasvasó el contenido y se enrasó con metanol en fioles de 25 mL. Los extractos se filtraron a través de 0.45 µm filtro de membrana y se conservaron en frascos ámbar a 2 °C. La concentración de flavonoides totales fue calculada mediante una curva de calibración a partir de un estándar de quercetina y se expresaron como miligramos de quercetina por 100 g de muestra. Al igual que en la determinación de fenoles totales, todas las mediciones se efectuaron por triplicado.

### Análisis HPLC

El sistema de HPLC empleado consistió en un Agilent-Serie 1100, equipado con una bomba de suministro de disolvente (G13110A), muestreador automático (G1313A), desgasificador (GL379A), horno de columna (G1316A) y detector de matriz de fotodiodos UV-vis. (DAD-G1365B). La separación de los flavonoides se realizó en una columna de acero inoxidable Eclipse Zorbax C-18 de fase reversa (150 mm, 4,6 mm, 5 µm). La fase móvil consistió en un gradiente isocrático con 30% de acetonitrilo (solución A) y 70% de buffer fosfato KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> (0,025 M) (solución B) ajustada a un pH 2,4. El caudal se fijó en 0,9 mL/min con un volumen de inyección de 10 µL a una temperatura de 30 °C y se leyó a una longitud de onda de 370 nm. La identificación y cuantificación de quercetina en las muestras se llevó a cabo

mediante la comparación del tiempo de retención registrados en los cromatogramas y el espectro de absorción UV-vis con la de los estándares.

### Análisis estadístico

Se utilizó un Diseño Compuesto Central Rotacional (DCCR) de segundo orden con resultados en Superficie de Respuesta. Este diseño, incluye 2k factoriales (+1, -1), 2\* k puntos axiales (+1,41; -1,41) y cuatro puntos centrales (0,0) para evaluar el error experimental (k = 2 variables independientes: temperatura (75-95 °C) y tiempo (20-60 min) totalizando 12 ensayos (Tabla 1).

Se construyeron modelos del tipo:

$$Y \approx \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{12} X_1 X_2$$

Donde:  $\beta_0$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta_{11}$ ,  $\beta_{22}$  y  $\beta_{12}$ : Coeficientes de regresión; Y: Respuesta, en función de los coeficientes significativos para cada respuesta (mg ácido gálico/g de muestra y mg quercetina/g de muestra).

Luego, se realizó un ANVA para los modelos y el cálculo de los coeficientes de determinación ( $R^2$ ), pruebas que permiten validar estadísticamente los modelos. Finalmente, se generan superficies de respuesta en donde se buscaron regiones de interés.

### 3. Resultados y discusión

Luego de haber realizado los 12 ensayos, se obtuvieron los resultados mostrados en la tabla 1.

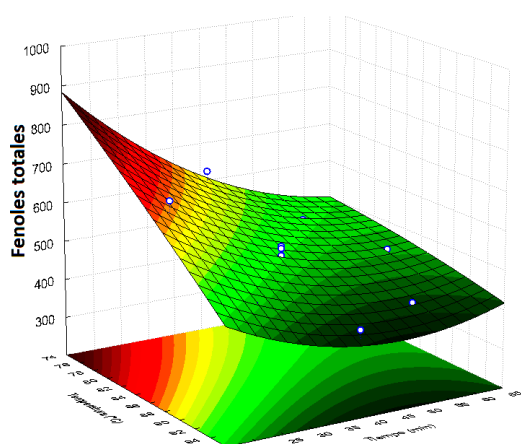
**Tabla 1.** Humedades finales (%), contenido de fenoles y flavonoides totales de los ensayos secados por ventana refractante (VR).

Ensayo s	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Humedad final (%)	Fenoles totales <sup>(a)</sup>	Flavonoides totales <sup>(b)</sup>
1	78	26	23,72 ± 2,73	654,28 ± 18,21	3,34 ± 0,22
2	92	26	8,66 ± 1,96	456,18 ± 13,88	1,55 ± 0,18
3	78	54	9,89 ± 1,47	498,31 ± 8,53	1,93 ± 0,36
4	92	54	5,07 ± 0,91	410,01 ± 12,93	1,73 ± 0,39
5	75	40	28,29 ± 2,28	633,74 ± 6,56	3,09 ± 0,34
6	95	40	6,62 ± 0,58	406,81 ± 9,71	1,88 ± 0,07
7	85	20	34,81 ± 3,76	687,32 ± 14,17	3,48 ± 0,07
8	85	60	7,54 ± 1,16	467,10 ± 10,74	1,87 ± 0,26
9	85	40	9,55 ± 0,87	483,32 ± 5,31	1,85 ± 0,04
10	85	40	15,04 ± 2,82	524,40 ± 9,81	2,44 ± 0,08
11	85	40	14,51 ± 1,26	519,55 ± 12,43	2,43 ± 0,02
12	85	40	12,32 ± 1,15	499,69 ± 15,19	2,36 ± 0,06

(a) mg ácido gálico/100 g de muestra (base seca); (b) mg quercetina/100 g muestra (base seca).

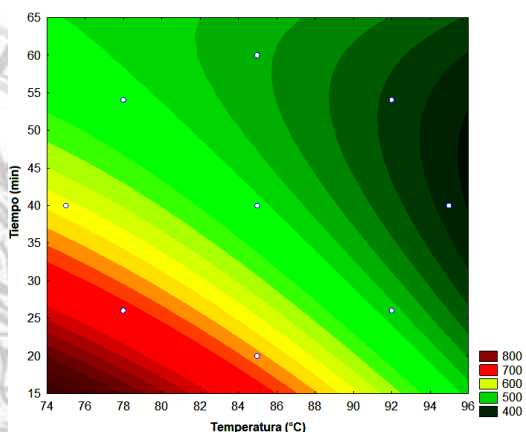
### Fenoles totales

Los compuestos fenólicos pueden desempeñar diversos roles como antioxidantes, además también tienen atributos sensoriales clave (amargor y astringencia), es por estas razones que han atraído la atención de muchos investigadores (Hamazu *et al.*, 2006). Los membrillos son considerados como buena fuente de estos compuestos, y este hecho se refleja claramente en la alta intensidad de la amargura y la astringencia incluso en fase de maduración (Wojdyło *et al.*, 2013).



**Figura 2.** Superficie de respuesta para el contenido de fenoles totales en cáscara de membrillo.

Las figuras 2 y 3 muestran que, a una temperatura de 74 a 78 °C y tiempo de 15 a 25 minutos en el secado, se observa una mayor concentración en el contenido de fenoles totales en las cáscaras de membrillo.



**Figura 3.** Superficie de contorno para el contenido de fenoles totales en cáscara de membrillo.

Esto podría ser debido a que VR es un método que permite la deshidratación de alimentos e ingredientes en bajos tiempos de proceso, lo que permite mantener su integridad respecto al sabor, color y nutrientes (Clarke, 2004). Diversos autores informan que esta tecnología de secado ofrece varios beneficios cuando se aplican a frutas y verduras (Krokida *et al.*, 2001; Figiel, 2010; Caparino *et al.*, 2012).

La concentración de los fenoles totales en la cáscara del membrillo fresco fue de  $226,36 \pm 5,25$  mg ácido gálico/100 g base húmeda y  $1013,72 \pm 23,51$  mg ácido gálico/100 g base seca, al comparar estos resultados con los obtenidos luego del proceso de secado, se aprecia una reducción del 13% respecto al ensayo 7 ( $T^\circ = 85^\circ\text{C}$ ,  $t = 20$  min) que fue el que más contenido de fenoles totales obtuvo.

De acuerdo a Nicoli *et al.* (1999) y Nicoli *et al.* (2000), esta reducción podría ser atribuible a la oxidación y polimerización de los compuestos fenólicos con propiedades antioxidantes, junto con el pardeamiento del tejido.

Torres *et al.* (2015) reportan una disminución del 49% en el contenido de fenoles totales en formulaciones de puré de membrillo (cáscara y pulpa) después del tratamiento térmico (cocción). Así mismo, se ha indicado que el contenido de compuestos fenólicos no cambió durante el procesamiento mermelada de membrillo, debido a la acción protectora que ofrecen los azúcares con respecto a los compuestos fenólicos (Silva *et al.*, 2006).

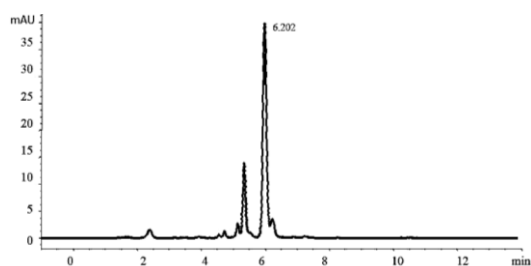
Estas reducciones podrían minimizarse con el uso de una tecnología de secado diferente para reducir el tiempo y temperatura de secado, y evitar la degradación de los polifenoles y otras moléculas antioxidantes en la matriz alimentaria (Manach *et al.*, 2004; Manzocco *et al.*, 2001).

Las diferencias en la concentración de compuestos fenólicos dados por otros autores y los hallados luego del secado también pudieron haber variado debido al uso de diferentes disolventes, metodologías de extracción y las condiciones climáticas de cultivo (Connor *et al.*, 2002).

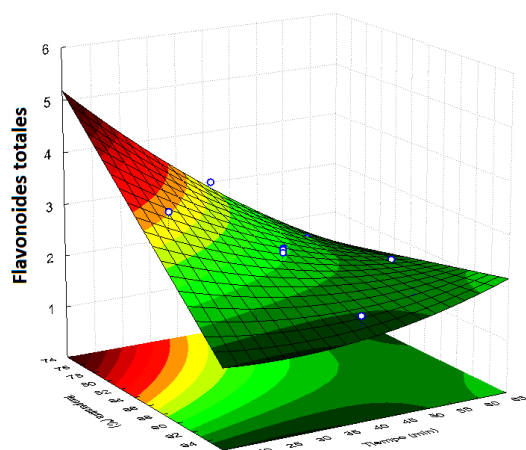
### Flavonoides totales

La figura 4 muestra el cromatograma de Quercetina en una concentración de 100

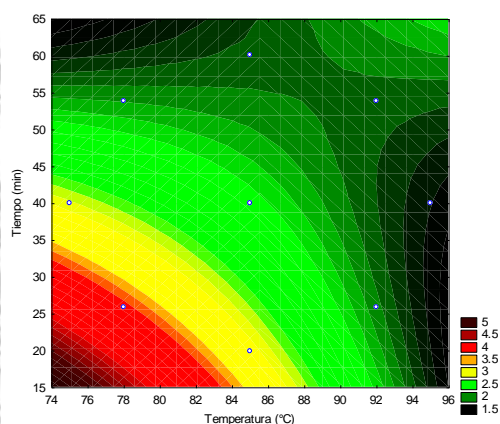
ppm, el cual representa un punto de la curva de calibración al detectar el mayor pico al cabo de un tiempo de 6,202 minutos de lectura en el equipo HPLC; dicho tiempo fue el control para el resto de mediciones y que a través de la integración de áreas se determina la concentración del flavonoide (analito) en la muestra.



**Figura 4.** Cromatograma para el estándar de flavonoides totales (Quercetina) recogido a 370 nm a una concentración de 100 ppm.



**Figura 5.** Superficie de respuesta para el contenido de flavonoides totales en cáscaras de membrillo.



**Figura 6.** Superficie de contorno para el contenido de flavonoides totales en cáscaras de membrillo.

Las superficies de respuesta (figuras 2 y 5) en el análisis del contenido de fenoles y flavonoides totales de las cáscaras de membrillo muestran un comportamiento similar; se observa que las extracciones de dichos compuestos bioactivos se ven fuertemente afectados por las variables independientes de temperatura y tiempo aplicados en los diferentes tratamientos.

Según se observa en las figuras 5 y 6, temperaturas de 74 a 78 °C y tiempos de 15 a 25 minutos en el secado, permiten una mayor concentración en el contenido de flavonoides totales en las cáscaras de membrillo (regiones rojas de la superficie). Por otro lado, la exposición a temperaturas moderadas y en presencia de oxígeno puede influenciar la actividad de la enzima polifenoloxidasas, iniciando la oxidación fenólica y la pérdida de estos compuestos fenólicos (Shahidi y Naczk, 2004; Madrau *et al.*, 2009) como se puede observar en las áreas verdes de la superficie, donde las muestras fueron expuestas a temperaturas mucho más altas por tiempos más largos, resultando en una disminución de estos compuestos antioxidantes. Además, en los compuestos polifenólicos los principales cambios químicos pueden deberse al rompimiento del enlace carbono-oxígeno que provoca la pérdida de grupos hidroxilos (OH) responsables de sus propiedades antioxidantes (Duthie *et al.*, 2003). La mayoría de estudios reportan alteraciones de las propiedades fisicoquímicas y pérdidas en el contenido antioxidante de materias primas vegetales que se someten a procedimiento térmicos.

Lin *et al.* (1998) indican que el proceso de secado frecuentemente afecta los compuestos fenólicos, ácido ascórbico y otros fitoquímicos específicos en las frutas y verduras. Al respecto Zanoni *et al.* (1999) mencionan que la temperatura alta y secada por mucho tiempo está asociada a menudo con el daño que afecta adversamente la textura, color, sabor y valor nutritivo de los productos.

En cuanto a la cantidad de flavonoides totales, se encontró  $0,35 \pm 0,002$  mg de quercetina/100 g base húmeda y  $1,58 \pm 0,01$  mg de quercetina/100 g base seca en cáscaras de membrillo fresco. Silva *et al.*, (2004) reportan contenidos de quercetina

más altos (0,80 mg quercetina/100 g). Silva *et al.* (2005) mostraron que la pulpa de membrillo presentó un perfil químico compuesto de 6 compuestos fenólicos principales y la cáscara de membrillo presenta, por lo general, hasta 13 compuestos fenólicos; 5-O-ácido-cafeoil-quínico fue el compuesto fenólico más abundante en la pulpa, mientras que la quercetina-3-O-rutinósido predominó en la cáscara. Así mismo, la quercetina 3-galactósido, kaempferol 3-glucósido, y kaempferol-3 rutinósido son predominantes en la cáscara de membrillo (Silva *et al.*, 2002).

Al comparar estos resultados con los obtenidos luego del secado, se aprecia un aumento (3 veces más) en el contenido de flavonoides totales. Este aumento podría atribuirse a los productos de Maillard; reacciones tales como, melanoidinas y reductonas, entre otros, con una fuerte actividad antioxidante, así como los productos de la hidrólisis de polifenoles (Fennema, 2000; Manzocco *et al.*, 2001; Tuohy *et al.*, 2006; Torres *et al.*; 2015).

#### Modelación y análisis

Los efectos de las variables independientes sobre las respuestas relativas de Fenoles Totales y Flavonoides Totales para el secado por ventana refractante (VR) se probaron mediante un análisis de varianza (ANOVA) (Tabla 2). Ambos modelos resultaron ser altamente significativos ( $p < 0.05$ ). El modelo matemático para las variables independientes del secado mediante VR sería:

$$\text{Fenoles Totales} = 506,30 - 75,55x_1 - 3,73x_1^2 - 63,94x_2 + 24,17x_2^2 + 27,45x_1 x_2$$

$$\text{Flavonoides Totales} = 2,27 - 0,46x_1 - 0,44x_2 + 0,09x_2^2 + 0,40x_1 x_2$$

El análisis de los coeficientes de regresión mostró que la temperatura (L) ( $p < 0,05$ ) y el tiempo (L) ( $p < 0,05$ ) tuvieron efectos significativos tanto sobre los fenoles como para los flavonoides totales.

El modelo de fenoles totales cuenta con un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 93,09, indicando que explica aproximadamente el 93% de la influencia de la temperatura y el tiempo en el contenido de fenoles. Respecto al modelo de los flavonoides totales, este presenta un  $R^2$  de 83,58, el cual indica que la temperatura y el tiempo de secado tienen una influencia del 84% en el contenido de estos compuestos bioactivos en el secado por el método de VR. Esto demuestra que los modelos matemáticos presentados pueden ser aplicados con fines de predicción e investigación.

#### 4. Conclusiones

Se encontró una reducción de aproximadamente 13% en el contenido de fenoles totales en los ensayos aplicados a las cáscaras de membrillo (*Cydonia oblonga* L. variedad "Serrano") con respecto al contenido de las muestras frescas. El estudio concluye que el secado por VR puede producir una menor reducción en el contenido de fenoles totales y un aumento significativo en el contenido de flavonoides totales en menores tiempos comparados con otros métodos de secado existentes. Los resultados mostraron que las cáscaras de membrillo secadas con tratamientos que combinan temperaturas entre 74-78 °C y tiempos cortos de 15-25 minutos, producen un aumento (3 veces más) en el contenido de flavonoides totales por VR.

**Tabla 2.** Análisis de varianza (ANOVA) para el modelo de ambas variables dependientes

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Grados Libertad	Cuadrados Medios	F	p	R <sup>2</sup>
Fenoles Totales						
Modelo	86562,32	5	17312,46	16,16	0,002	0,93
Residuos	6429,85	6	1071,64			
Total	92992,17	11				
Flavonoides Totales						
Modelo	3,94	5	0,79	6,11	0,024	0,84
Residuos	0,77	6	0,13			
Total	4,71	11				



Las cáscaras de membrillo (*Cydonia oblonga* L. variedad "Serrano") pueden ser conservadas mediante secado por ventana refractante (VR) para su uso como una alternativa funcional y nutricional en el mejoramiento del flavor, añadir fibra y compuestos bioactivos ricos en antioxidantes para la preparación de productos alimenticios sanos y nutritivos y en diferentes aplicaciones alimentarias.

## Referencias

- Abonyi, B.; Feng, B.; Edwards, C.; Tang, J. 2002. Quality retention in strawberry and carrot purees dried with Refractance Window system. *Journal of Food Science* 67: 1051-1056.
- Blasa, M.; Candiracci, M.; Accorsi, A.; Piacentini, P. M.; Albertini, M. C.; Piatti, E. 2005. Raw Millefiori honey is packed full of antioxidants. *Food Chemistry* 97: 217-222.
- Caparino, O. A.; Tang, J.; Nindo, C. I.; Sablani, S. S.; Powers, J. R.; Fellman, J. K. 2012. Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (Philippine 'Carabao' var.) powder. *Journal of Food Engineering* 111: 135-148.
- Castañeda, J.; Arteaga, H.; Siche, R.; Rodríguez, G. 2010. Estudio comparativo de la pérdida de vitamina C en chalarina (*Casimiroa edulis*) por cuatro métodos de deshidratación. *Scientia Agropecuaria* 1: 75-80.
- Clarke, P. 2004. Refractance window™ - "Down under". *Drying-Proceedings of the 14th International Drying Symposium (IDS 2004)*. Sao Paulo, Brazil, 22-25 August 2004, vol. B.: 813-820.
- Connor, A.; Luby, J.; Tong, C. 2002. Genotypic and environmental variation in antioxidant activity, total phenolic content, and anthocyanin content among blueberry cultivars. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 127 (1): 89-97.
- Duthie, G.; Gardner, P.; y Kyle, J. 2003. Plant polyphenols: are they the new magic bullet?, *Proceedings of the Nutrition Society* 62 (3): 599-603.
- Fennema, O. R. 2000. In Acibia Zaragoza (Ed.), *Química de los Alimentos* (2da. Edición). (p. 1258).
- Figiel, A. 2010. Drying kinetics and quality of beetroots dehydrated by combination of convective and vacuum-microwave methods. *Journal of Food Engineering* 98: 461-470.
- Gamboa, D.; Ibáñez, D.; Meléndez, M.; Paredes, E.; Siche, R. 2014. Secado de lúcumas (*Pouteria obovata*) empleando la técnica de Ventana Refractante™. *Scientia Agropecuaria* 5: 103-108.
- Hamazu, Y.; Inno, T.; Kume, C.; Irie, M.; Hiramatsu, K. 2006. Antioxidant and antiulcerative properties of phenolics from Chinese quince, quince, and apple fruits. *J. Agric. Food Chem.* 54: 765-772.
- Holtung, L.; Grimmer, S.; Aaby, K. 2011. Effect of processing of black currant press-residue on polyphenol composition and cell proliferation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(8): 3632-3640.
- INTA. 2014. Base de datos de Actividad Antioxidante y Polifenoles Totales en frutas. Disponible en: <http://www.portalantioxidantes.com/orac-base-de-datos-actividad-antioxidante-y-contenido-de-polifenoles-totales-en-frutas-4/>.
- Krokida, M.K.; Maroulis, Z.B.; Saravakos, G.D. 2001. The effect of the method of drying on the color of dehydrated products. *International Journal of Food Science and Technology* 36: 53-59.
- Legua, P., Serrano, Melgarejo, P.M.; Valero, D.; Martínez, J.; Martínez, R.; Hernández, F. 2013. Quality parameters, biocompounds and antioxidant activity in fruits of nine quince (*Cydonia oblonga* Miller) accessions. *Sci. Hortic.* 154: 61-65.
- Lin, M.; Durance, D y Scaman, H. 1998. Characterization of vacuum microwave, air and freeze dried carrots slices. *Food Research International* 31(2): 111-117.
- Madrau, M.; Piscopo, A.; Sanguinetti, A; Caro, A.; Poiana, M.; Romeo, F.; Piga, A. 2009. Effect of drying temperature on polyphenolic content and antioxidant activity of apricots. *European Food Research and Technology* 228: 441-448.
- Manach, C.; Scalbert, A.; Morand, C.; Remesy, C.; Jimenez, L. 2004. Polyphenols: food sources and bioavailability. *American Journal of Clinical Nutrition* 79: 727-747.
- Manzocco, L.; Calligaris, S.; Mastrocola, D.; Nicoli, M. C.; Lerici, C. R. 2001. Review of non-enzymatic browning and antioxidant capacity in processed foods. *Trends in Food Science and Technology* 11: 340-346.
- Nicoli, M. C.; Anese, M.; Parpinel, M. 1999. Influence of processing on the antioxidant properties of fruit and vegetables. *Trends in Food Science and Technology* 10: 94-100.
- Nicoli, M. C.; Calligaris, S.; Manzocco, L. 2000. Effect of enzymatic and chemical oxidation on the antioxidant capacity of catechin model systems and Apple derivatives. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48: 4576-4580.
- Nindo, C.I.; Sun, T.; Wang, S.; Tang, J.; Powers, J. 2003. Evaluation of drying technologies for retention of physical and chemical quality of green asparagus (*Asparagus officinalis*, L.). *Food Sci. Technol. (LWT)* 36 (5): 507-516.
- Nindo C.I.; Tang J.; Powers J. R.; Bolland K. 2004. Energy consumption during Refractance Window evaporation of selected berry juices. *International Journal of Energy Research* 28(12): 1089-1100.
- Nindo, C.I.; Powers, J.R.; Tang, J. 2007. Influence of Refractance Window vaporation on quality of juices from small fruits. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie* 40: 1000-1007.
- Nindo, C.T.; Tang, J. 2007. Refractance Window Dehydration Technology: A Novel Contact Drying Method. *Drying Technology* 25(1): 37-48.
- Ricce, C.; Leyva, M.; Medina, I.; Miranda, J.; Saldarriaga L, Rodríguez, J.; Siche, R. 2013. Uso de residuos agroindustriales de La Libertad en la



- elaboración de un pan integral. *Agroindustrial Science* 3(1): 41-46.
- Roldán-Marín, E.; Sánchez-Moreno, C.; Lloría, R.; Begoña de Ancos, M.; Cano, P. 2009. Onion high-pressure processing: Flavonol content and antioxidant activity. *Food Science and Technology* 42: 835-841.
- Sharma, R.; Joshi, V.; Rana, J.C. 2011. Nutritional composition and processed products of quince (*Cydonia oblonga* Mill.). *Indian J. Nat. Prod. Resour.* 2: 354-357.
- Shahidi, F. y Naczsk, M. 2004. *Phenolics in food and nutraceuticals*. CRC Press: Boca Raton, FL.
- Silva, B. M.; Andrade, P. B.; Ferreres, F.; Domingues, A. L.; Seabra, R. M.; Ferreira, M. A. 2002. Phenolic profile of quince fruit (*Cydonia oblonga* Miller) (pulp and peel). *J. Agric. Food Chem.* 50: 4615-4618.
- Silva, B. M.; Andrade, P. B.; Valentão, P.; Ferreres, F.; Seabra, R. M.; Ferreira, M. 2004. Quince (*Cydonia oblonga* Miller) fruit (pulp, peel, and seed) and jam: antioxidant activity. *J. Agric. Food Chem.* 52: 4405-4712.
- Silva, B. M.; Andrade, P. B.; Martins, R.; Valentão, P.; Ferreres, F.; Seabra, R. M.; Ferreira, M. 2005. Quince (*Cydonia oblonga* Miller) fruit characterization using principal component analysis. *J. Agric. Food Chem.* 53: 111-122.
- Silva, B.M.; Andrade, P.B.; Martins, R.C.; Seabra, R.M.; Ferreira, M.A. 2006. Principal component analysis as tool of characterization of quince (*Cydonia oblonga* Miller) jam. *Food Chem.* 94: 504-512.
- Torres, C.; Romero, L.; Díaz, R. 2015. Quality and sensory attributes of apple and quince leathers made without preservatives and with enhanced antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology* 62: 996-1003.
- Tuohy, K. M.; Hinton, D.; Davies, S. J.; Crabbe, J. C.; Gibson, G. R.; Ames, J. M. 2006. Metabolism of Maillard reaction products by the human gut microbiota e implications for health. *Molecular Nutrition & Food Research* 50: 847-857.
- Viuda-Martos, M.; Ruiz-Navajas, Y.; Sánchez-Zapata, E.; Fernández-López, J.; Pérez-Álvarez, J. 2010. Antioxidant activity of essential oils of five spice plants widely used in a Mediterranean diet. *Flavour and Fragrance Journal* 25: 13-19.
- Waterhouse, A. 2002. Determination of total phenolics. In R. E. Wrolstad (Ed.), *Current protocols in food analytical chemistry*, Vol. Supplement 6 (pp. I.1.1.1eI.1.8). New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Wojdylo, A.; Ozmíanski, J.; Bielicki, P. 2013. Polyphenolic composition, antioxidant activity, and polyphenol oxidase (PPO) activity of quince (*Cydonia oblonga* Miller) varieties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 61: 2762-2772.
- Zanoni, B.; Peri, C.; Nani, R. y Lavelli, V. 1999. Oxidative heat damage of tomato halves as affected by drying. *Food Research International* 31(5): 395-401.

